

VoIPとIPテレフォニーの ための電源と冷却

ヴァイスワス プラーニ

White Paper #69

APC[®]
Legendary Reliability™

要約

Voice over IP (VoIP) の導入に伴い、ワイヤリングクロゼットやサーバールームで電力や冷却に対する予期しない問題が発生することがあります。ほとんどのワイヤリングクロゼットはUPS（無停電電源装置）を備えておらず、IT機器の過熱を防止するための換気や冷却も十分ではありません。VoIP機器の電源と冷却に関する問題を理解すれば、VoIPの導入を効果的かつ適切に計画できます。このホワイトペーパーでは、VoIP用の電源と冷却をいかに計画したらよいかを論じ、古い施設や建物をアップグレードするためのシンプル且つ迅速な、そして信頼性とコスト効率に優れた方法を提示します。

はじめに

VoIPとIPテレフォニーが従来型の通信とPBX（構内交換機）電話システムに取って代わるには、従来型のシステムと同等かまたはそれ以上の可用性を実現する必要があります。従来型のPBXシステムの可用性が高い主な理由の1つは、長時間稼働するバックアップバッテリーを内蔵しており、ネットワークを介して電話に電力を供給できることにあります。従って、IPテレフォニーは「信号と一緒に電力を供給する」というレガシーPBXが実証されているコンセプトを利用し、期待されるレベルに可用性を引き上げなければなりません。パッチパネルやハブなどの受動型の機器を収納していたワイヤリングクロゼット（配線クロゼット）も、これからは高性能のスイッチ、ルータ、UPSなどの長時間稼働に対応しなければなりません。連続稼働を確実にするために冷却とエアフローも重要になります。

IPテレフォニーのネットワークは複数の階層から構成されます。ネットワークのコンポーネントはそれぞれの階層に応じて4つの場所に置かれます（図1）。以下で説明するように、これら4つの場所の電源と冷却への要求は一律ではありません。

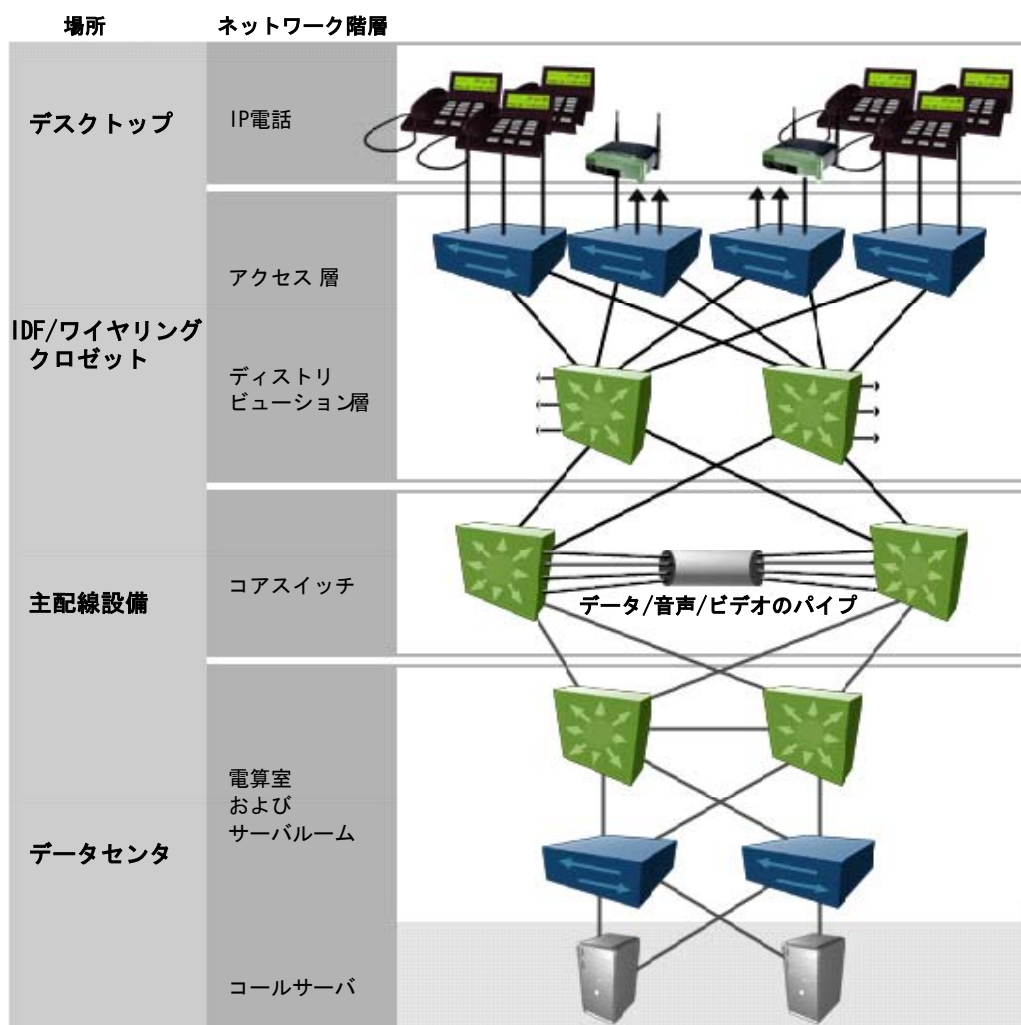


図 1 – 典型的なIPテレフォニーネットワークの階層と場所

通信機器

通信機器/エンドポイントとして一般に使用されるのは、IP電話（図2a）と無線ハブ（図2b）に加え、標準の電話機能を実行するためのソフトフォンをインストールしたパーソナルコンピュータです。IP電話の消費電力は平均的に6~7Wですが、もっと多くの電力を消費する機器も存在します。新しい標準であるIEEE 802.3afの草案は、CAT5ケーブルを介してこの種の機器が受け取れる電流を350mAに制限し、電力を送るピンも指定しています。この新しい標準に準拠したネットワークは最大100mの距離におよそ15Wの電力を供給します。これ以上の電力を消費する通信機器は外部の電源（例えばプラグインのアダプタ）に頼らなければなりません。



図 2a – IP電話



図 2b – 無線ハブ

環境

これらの通信機器はデスクトップに置かれ（場合によっては壁に取り付けられ）、オフィス環境で使用されます。最近導入またはアップグレードしたネットワークでは、電力はデータラインから供給されるのが普通です。しかし、壁コンセントから電力が供給されるケースもあります。

課題

IP電話がPBXに取って代わるには、PBXと同等の可用性を実現しなければなりません。このための最大の課題は、停電が長引いた場合にも中断することなく稼動することです。

最良の方法

この課題に対処する最良の方法は、データラインを介して電話に送電することです（いわゆるインライン電源）。こうすれば、デスクトップ上で電源を確保する必要がなくなります。長時間稼働のUPSを装備したワイヤリングクロゼット内のネットワークスイッチから電話に電力が供給されることになるからです。壁コンセントを電源とする通信機器（インライン電源を使用していない通信機器）については、長時間（4、6、8時間あるいはそれ以上）のバックアップ用バッテリーを備えたUPSを用意します。

中間配線盤 (Intermediate Distribution Frame : IDF)

IDFあるいはワイヤリングクロゼットを構成しているのは、レイヤ2とレイヤ3のアクセススイッチと配線スイッチ、ハブ、ルータ、パッチパネル、UPS（バッテリーバックアップ付き）、2ポストラックにマウントしたその他の通信装置です（図3aと3b）。最近のスイッチの多くはデータラインを介して電力を供給する機能（いわゆる「エンドスパン」の電源）を内蔵しており、他の通信機器に電力を供給できます。この機能を備えていないスイッチでは、外部に適切なサイズの「ミッドスパン」の電源を用意して、インライン電力を供給します。

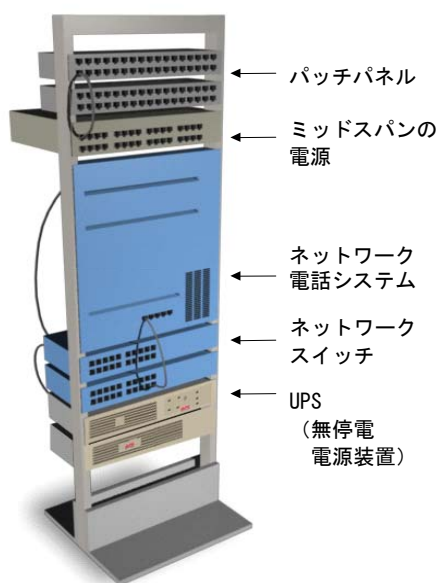


図 3a - IDF (配線クロゼット)

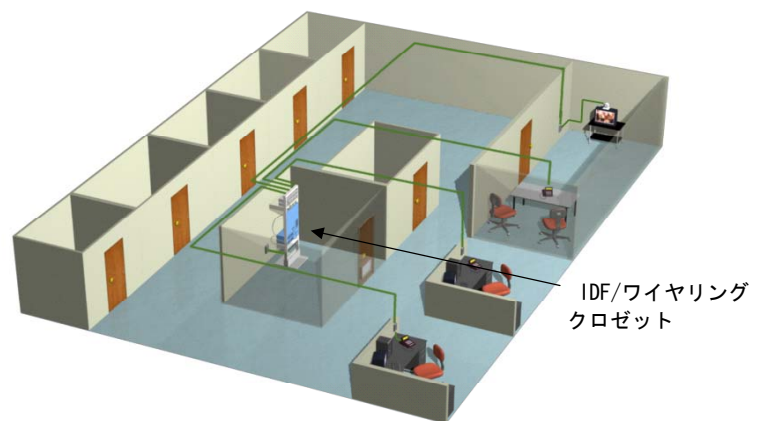


図 3b - IDFの典型的なレイアウト

環境

一般にIDFは建物の奥まった場所に設置されており、換気や照明はほとんど考慮されていません。新しい建物にでも移動しない限り、企業はこのワイヤリングクロゼットを継続して利用したいと考えerでしょう。従来の通信ネットワークでは、ワイヤリングクロゼットはパンチダウンブロック、パッチパネル、少数のスタックブルハブまたはスイッチを収納するだけでした。しかし、最近のIPテレフォニー装置の消費および伝送する電力は増加しています。IPテレフォニースイッチの多くは19インチラックにマウントするタイプであり、エアフローのパターンもメーカーに応じてさまざまです（側面から側面へ、前面から背面へなど）。平均的なIDFは1~3本のラックが含まれ、500Wから4000Wの単相交流電力が必要になっています。

課題

VoIPとIPテレフォニーの導入にあたっては、IDFの電源と冷却に特に注意する必要があります。IDFは500Wから4000Wまでの単相100Vまたは200VのAC電力を消費します（実際にどれだけの電力が必要かはネットワークのアーキテクチャとスイッチのタイプに依存します）。ワイヤリングクロゼットに収納されたすべてのネットワーク機器、UPS、PDUについて、適切なタイプのコンセント（L5-20、L5-30、L6-20、L6-30など）を用意し、適切な回路ブレーカで保護された電力を供給するのは、そう簡単ではありません。ワイヤリングクロゼットの冷却とエアフローも大きな問題ですが、往々にして見逃されがちです。

最良の方法

IDF内の機器をすべてUPSで保護します。どのようなUPSを選択するかは、以下の要因に依存します。

- 必要な総電力量（ワット数）
- 必要な稼働時間（分）
- 望ましい冗長性またはフォルトトレランス（耐障害性）のレベル
- 必要な電圧とコンセント

UPSの容量は機器のワット定格の総和に応じて選択します。Smart-UPSシリーズ（図4a）などの一般的なUPSは99.99%の電力可用性を実現します。Symmetraシリーズ（図4b）などのバイパスを内蔵したN+1冗長のUPS（1時間稼働）では、電力可用性は99.999%に達します。ほとんどのケースではこれで十分です。可用性分析の詳細については付録を参照してください。



図4a – Smart-UPSシリーズの一例



図4b – Symmetraシリーズの一例

UPS製品に内蔵されているバッテリーパックより必要となる稼働時間を提供できます。図4aと図4bに示したタイプのUPSはオプションのバッテリーパックが用意されており、稼働時間を最大24時間にまで延長できます。

緊急電話番号などの非常に重要なアプリケーションでは、99.9999%ないし99.99999%といった高いレベルの可用性が求められます。こうしたニーズに対処するには、二重化ネットワークスイッチ、二重化電源コード、二重化UPS、発電機でのバックアップにより電気設備保守時にも停電なしの電力システムが

必要になります。このような非常に重要なネットワーク用の高可用性電力インフラについては、APCをはじめとする多くの会社が専用のコンサルティングサービスを提供しています。

最後に、ワイヤリングクロゼット内のUPSを含むこれらの機器に必要なプラグやコンセントを決定しなければなりません。すべての機器をUPSまたは変圧器の背面に直接接続し、追加のアウトレットストリップやラックマウント分電盤（PDU）の使用を回避するのが理想です。しかし、機器の数が多い場合、これは現実的なやり方ではなく、ラックマウントPDUの使用が必要になります。このような場合は、用途に合わせて特別に設計したハイグレードのラックマウントPDUを使用するようにします。PDUは現在の機器をすべて接続することはもちろん、将来のニーズにも応えられるように十分な数のプラグを備えていなければなりません。電力消費量を表示するメータ付きの分電盤（PDU）を使用すれば、不慮の過負荷による停電といったエラーが少なくなります。

ワイヤリングクロゼット内の装置を年中無休1日24時間（7x24x365）連続稼働させるには、冷却とエアフローの問題にも対処する必要があります。ワイヤリングクロゼットの消費電力量を計算して、コスト効率のよい方法で問題を解決しなければなりません（表1）。ここで重要なのは、ネットワークスイッチの多くは入力電力容量が大きいものの、ワイヤリングクロゼット内のネットワークスイッチによってすべて消費されるわけではないということです。例えば、レイヤ2のスイッチは1800Wの入力電力が必要ですが、このスイッチが消費するクロゼット内の電力は200～500Wにすぎません。残りの電力はネットワークを介してさまざまな所に散在するIP電話に送られ、オフィスのエリアで消費されます。

表 1 – VoIPワイヤリングクロゼットの熱出力を計算するための作業シート

項目	必要なデータ	熱出力の計算	熱出力小計
スイッチ（インライン電源なし） その他のIT機器（ミッド スパンの電源装置を除く）	定格入力電力（ワット数）の 合計	IT負荷電力（ワット 数）合計と同じ	_____ W
スイッチ（インライン電源付 き）	定格入力電力（ワット数）	0.6x定格入力電力	_____ W
ミッドスパン電源装置	定格入力電力（ワット数）	0.4x定格入力電力	_____ W
照明	常時点灯している照明器具の定 格電力（ワット数）	定格電力	_____ W
UPSシステム	UPSシステムの定格容量（負荷 ではない）（ワット数）	0.09xUPS定格容量	_____ W
合計	上記の小計	上記の熱出力小計の 合計	_____ W

ワイヤリングクロゼット内で消費される電力を計算したら、表2に示すガイドラインに従ってください。

表 2 – VoIPワイヤリングクロゼット冷却ソリューションのための作業シート

クロゼット内の熱負荷合計	条件	分析	対策
< 100W	<ul style="list-style-type: none"> ●建物内全体のエアフローがよい。 ●空調が設置されている。 	全体のバランスがよい。	なし
< 100W	<ul style="list-style-type: none"> ●エアフローが悪い。 ●HVACシステム(精密空調装置)なし。 	温度や異物のため機器の冷却として外気が利用できない。	機器に隣接するラック内に自立式のコンピュータ用空調装置を取り付ける。
100～500W	<ul style="list-style-type: none"> ●天井式HVACシステム（精密空調装置）がある。 ●建物内全体のエアフローがよい。 ●空調が設置されている。 	ラックの外から空気を吸い込めばよいが、ドアが吸気を妨げる。ドアから吸気しHVAC（精密空調装置）に排気する。	ラックのドア下半部に通気口を設ける。
100～500W	<ul style="list-style-type: none"> ●ラックからはHVACシステム（精密空調装置）に直結していない。 ●建物内全体のエアフローがよい。 ●空調が設置されている。 	ラックの外から空気を吸い込めばよいが、ドアが吸気を妨げる。空気がドアの下方を通過するようにし、排気をドアの上部に持っている。	ラックグリルを設置し、ラック上部に排気用グリルを設置し、ラックドアの下半部に空気吸い込み口を設ける。
500～1000W	<ul style="list-style-type: none"> ●天井式HVACシステム（精密空調装置）がある。 ●建物内全体のエアフローがよい。 ●空調が設置されている。 	ラックの外から空気を連続的に吸い込めばよいが、ドアが吸気を妨げる。	クロゼットの上方に換気ファン付きの還流グリルを設置し、ラックドアの下半部に換気グリルを設置する。
500～1000W	<ul style="list-style-type: none"> ●ラックからはHVACシステム（精密空調装置）に直結していない。 ●建物内全体のエアフローがよい。 ●空調が設置されている。 	換気ファンが連続運転にて空気を吸い込めばよいが、換気ルートがない。	ドアの上方に換気ファン付きの排気グリルを設置し、ラックドアの下半分に換気グリルを設置する。
> 1000W	<ul style="list-style-type: none"> ●天井式HVACシステム（精密空調装置）に直結している。 ●建物内全体のエアフローがよい。 ●空調が設置されている。 	装置に冷気が直接に通り、装置から排出する暖気が装置の冷気吸い込み口に環流しない。	暖気除去システム付きの閉鎖型ラックの中に装置を設置し、ラックドアの下半分に換気グリルを設置する。
> 1000W	<ul style="list-style-type: none"> ●ラックからはHVACシステム（精密空調装置）に直結していない。 ●建物内全体のエアフローがよい。 ●空調が設置されている。 	ドアを介した通気では不十分。機器の排気を局所的に冷却する必要がある。	機器に隣接するラック内に自立式のコンピュータ用空調装置を取り付ける。

最後に、ワイヤリングクロゼットの環境監視（例えば温度と湿度のモニタリング）をお勧めします。異常な状態を検出し、早めに対策をとってダウンタイムを回避するうえで、環境モニタリングは非常に役に立ちます。

主配線盤 (Main Distribution Frame : MDF)

MDFはMER (main equipment room) あるいはPOP (point of ping/presence) ルームとも呼ばれます。MDFには、レイヤ3スイッチ、ルータ、その他のネットワーキング機器、IT/通信機器など、VoIPとIPテレフォニーにとって重要な装置がほとんど収納されます(図5)。T1回線とT3回線は一般にMDFを終端として、インターネットのバックボーンへの接続を実現しています。

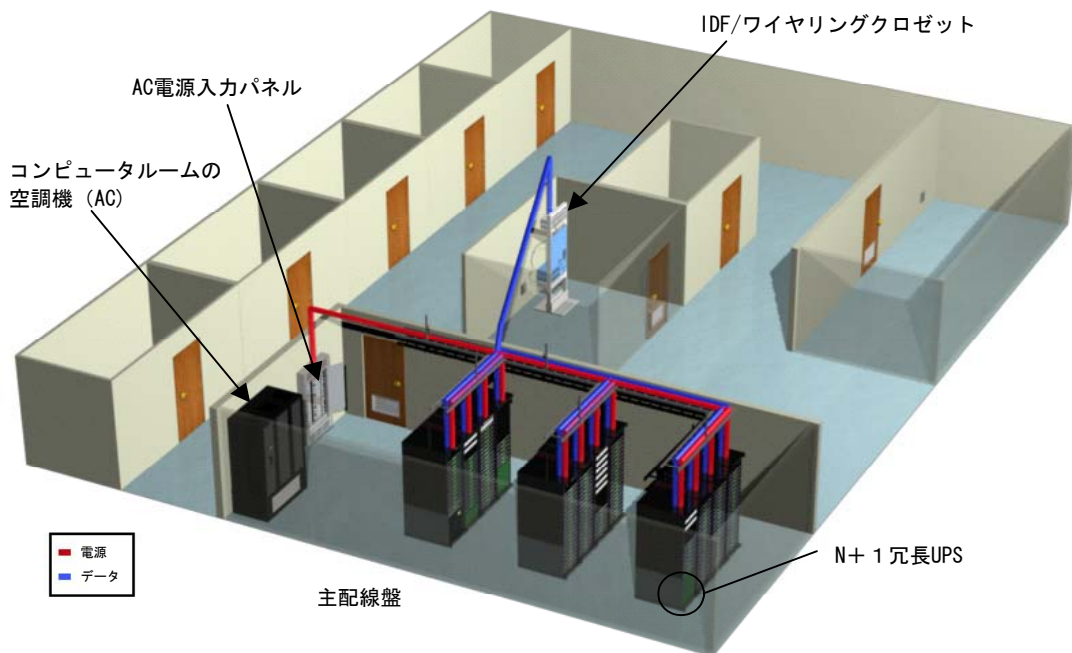


図5 - 主配線盤

環境

通常、MDFは地下ないし一階に置かれ、ビルサービスの入口となっています。平均的なMDFは4~12本のラックが含まれ、4kWないし40kWの単相または3相の200V AC電力が必要になります。場合によっては、DC(48V)の電源を必要とする機器も存在します。MDFのラックの大半は2ポストのオープンラックであり、IPテレフォニーとIT用の各種の機器をマウントしています。機器にはさまざまなエアフローのパターン(側面から側面へ、前面から背面へなど)があり、サイズも19インチから23インチまでいろいろです。しかし、最近のIPテレフォニー機器やIT機器のほとんどは19インチラックにマウントするタイプです。

課題

MDFルームにはUPSが用意されていないケースがあります。UPSが用意されていても、バッテリーのバックアップ時間が十分でないことが少なくありません。また、多くの場合、換気と冷却のための専用の空調システムは用意されていません。

最良の方法

MDFはネットワーク、IT、テレフォニーの重要な機器を収納していることから、小規模なデータセンタやコンピュータールーム並みの扱いが必要になります。99.999%の電力可用性を実現するには、MDFルームにバイパスを内蔵したモジュール式の冗長UPSを装備し、少なくとも30分のバックアップ時間を確保しなければなりません。99.9999%または99.99999%といったもっと高いレベルの可用性を実現するには、二重化ワークスイッチ、二重化電源コード、二重化UPS、発電機のバックアップにより電気設備保守時にも停電なしの電力システムが必要になります。このような非常に重要なネットワーク用の高可用性電力インフラについては、APCをはじめとする多くの会社が専用のコンサルティングサービスを提供しています。

MDFには環境モニタリングの機能を備えた専用のCRAC（精密空調装置）が必要です。高可用性を必要とする重要な業務では、冗長空調装置の設置も検討します。高密度のラック（>3kW/ラック）については、空気分配装置と暖気排気装置を追加して、部分的な過熱の発生を防止します。サーバやストレージ装置とは異なり、スイッチの多くは側面から側面へのエアフローになっています。クローズラックを使った環境ではこれは特別な問題を引き起こします。

データセンタ、電算室およびサーバルーム

データセンタ、電算室およびサーバルーム（図6）は、IPテレフォニーのアプリケーションサーバをすべて格納しています。アプリケーションサーバには、Call ManagersやUnified Messagingなどのソフトウェアがインストールされています。ネットワークのアーキテクチャと組織の規模によっては、コアスイッチ（レイヤ3）や分配スイッチ（レイヤ2）が収納されている場合もあります。データセンタの規模（小、中、大）にもよりますが、は数十～数百本のラックを設置し、データセンタ全体では何十、何百というサーバ、IT機器、ネットワーク機器、コンピューティングシステムがラックにマウントされています。こうした機器やシステムは、ERP、CRM、その他のWebベースのサービスなど重要なビジネスアプリケーションを実行しています。

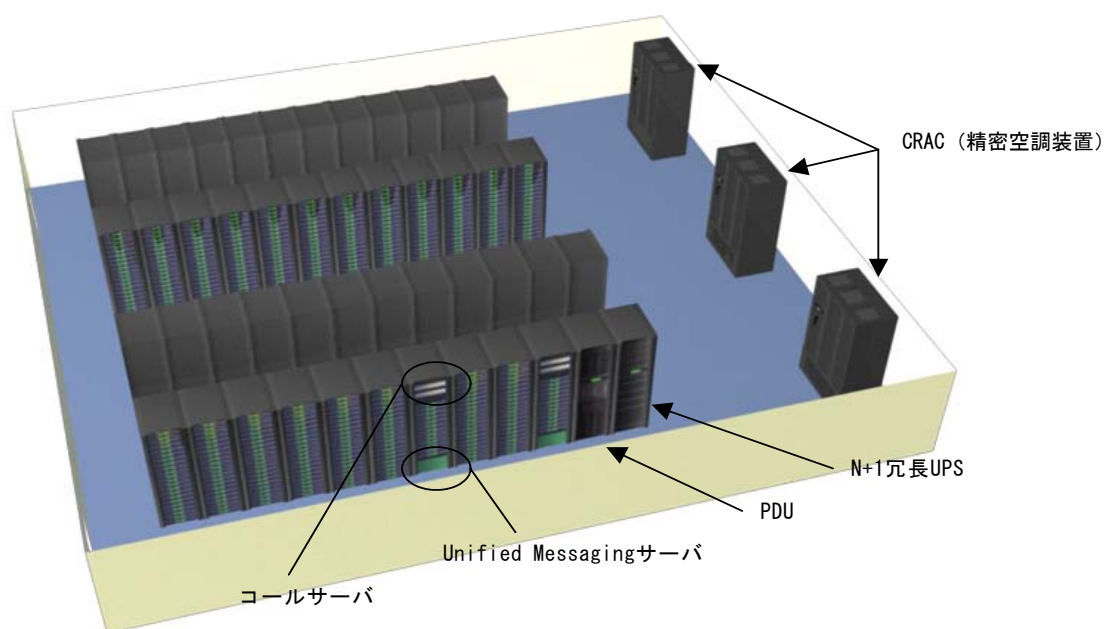


図 6 – 典型的なデータセンタ、電算室およびサーバルーム

環境

データセンタは一般にオフィスビルに設置されています。小規模なデータセンタは10kW程度の単相または3相の200VAC電力が必要ですが、大規模なデータセンタの場合は数百kWの3相400VAC電力を引き込みます。少量のDC(48V)電力を必要とする通信機器も存在しますが、大半の機器はAC電力を使用します。データセンタのほとんどはUPS、発電機、CRAC（精密空調装置）を備えています。

課題

IPテレフォニーのサーバやスイッチはデータセンタにとって基本的に付帯的な負荷の増加をもたらします。さらに、これらのサーバやスイッチは、他のIT機器やネットワーク機器よりも長い稼動時間とより高度な冗長性、可用性を必要とします。

最良の方法

データセンタはすでにUPSや発電機を装備しているとはいえ、IPテレフォニーの機器のためにより長時間のバッテリーバックアップを可能にする冗長UPSを別途用意する方がよいでしょう。長い稼動時間と高い可用性を必要とするIPテレフォニーの機器をデータセンタ内の別の場所に集めて、特別なラックに収納します。さらに、これらの機器については、必要に応じてより長時間稼動できるN+1またはN+2の専用UPSを配備します。「可用性の目標値 (Targeted Availability)」というコンセプトを利用すれば、データセンタ全体への巨額の設備投資なしに、ビジネスにとって不可欠なIPテレフォニー機器の可用性を高めることができます。データセンタとネットワークが特に高度な可用性を必要としている場合には、ラック内のサーバと重要機器のすべてについて、二重化発電機による二重化給電、N+1の二重化UPS、二重化給電経路などの高度な冗長性を検討します。

IPテレフォニー機器を追加することによってデータセンタのCRAC（精密空調装置）の冷却能力に不足が生じることは問題です。高い可用性が求められている場合には、冗長の空調装置を検討してください。高密度のラック（>3kW/ラック）については、空気分配装置と暖気排気装置を追加して、部分的な過熱の発生を防止します。

結論

通信機器をオフィス環境で使用することには何の問題もありません。同様に、IPテレフォニー機器は付帯的に負荷を増加させるにすぎないため、データセンタ、電算室およびサーバールームでも大きな問題は発生しません。しかし、重要なIPテレフォニーのサーバとスイッチには、「可用性の目標値」を検討するのもよいでしょう。MDFについては稼動時間に問題が生じるかもしれませんが、これは発電機または大型のUPSによって解決できます。電源と冷却に関する最も大きな問題は、ワイヤリングクロゼットで発生します。長時間稼動が可能な小型の専用UPSのほうがコスト効率に優れています。冷却はワイヤリングクロゼットにとって厄介な問題であり、換気だけでは解決になりません。場合によっては、ターゲットを絞った特定のスポットの冷却が必要になります。

参考文献

1. APC White Paper #37 : データセンタ・インフラの過剰設備により発生する不要なコストを回避するために
2. APC White Paper #5 : Essential Cooling System Requirements for Next Generation Data Centers (英語版のみご利用いただけます)
3. APC White Paper #24 : Effect of UPS on System Availability (英語版のみご利用いただけます)
4. APC White Paper #43 : Dynamic Power Variations in Data Centers and Network Rooms (英語版のみご利用いただけます)
5. APC White Paper #1 : The Different Types of UPS Systems (英語版のみご利用いただけます)
6. APC White Paper #49 : データセンタ (サーバールームおよび電算室) の冷却能力を損なう問題を回避する方法

英語版ホワイトペーパーにつきましては、こちらのURLをご参照ください。URL:www.apc.com

リファレンス

1. [American Power Conversion Corporation](#)
2. [Avaya](#)
3. [Cisco Systems](#)
4. [Nortel Networks](#)
5. [3COM](#)
6. [IEEE](#)

著者について

ヴィスワス プラーニ氏は、米国ロードアイランドを本拠とするAPCの新技术&アプリケーション担当ディレクタであり、パワーエレクトロニクスの業界で16年間のグローバルな経験を積んでいます。同氏はインドでパワーエレクトロニクスの学士号を取得し、以来UPSやAC/DCドライブに関して欧州や米国の先進企業からインドへの技術移転に携わってきました。米国の大学からは経営学の修士号を取得（国際ビジネス専攻）し、中東ではデータセンタのサポート会社を設立、インド西部ではMotorola社の半導体販売にかかわりました。7年前にAPCに入社、SymmetraおよびInfraStruXure系列の製品/プログラム担当マネージャとして、これらの製品の設計、開発、販売、サポートに深く関与しています。

付録

可用性レベルの分析アプローチ

APCのAvailability Science Centerは一貫した可用性分析アプローチを駆使して、可用性のレベルを計算しています。このアプローチは信頼性ブロック図（Reliability Block Diagram : RBD）と状態空間モデリング（State Space modeling）を組み合わせ、モデルの対象となる環境を表します。RBDはアーキテクチャのサブシステムを表し、ステートスペース図（Markov図とも呼ばれます）は電気アーキテクチャのさまざまな状態を表します（例えば、停電の場合にはUPSがバッテリーを使用します）。分析のデータはすべて業界に広く受け入れられている第三者機関（IEEEやRACなど）をソースとしています（表A2）。このようにして統計的に算出された可用性レベルは、第三者によって裏付けられています。

バージニア大学Joanne Bechta Dugan教授

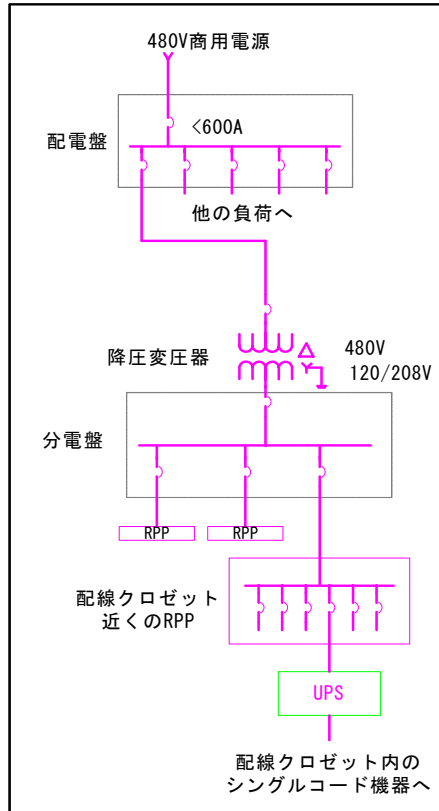
「分析は信頼できるものであり、方法は健全だ。信頼性ブロック図（RBD）とMarkov reward model（MRM）の組み合わせは適切な選択であり、MRMの柔軟性と精度をRBDの平明さと組み合わせることを可能にする。」

可用性分析を通じて、各種の電気アーキテクチャの影響を定量化しました。26種類のアーキテクチャの可用性を計算し、相互に比較しました。その内6つのアーキテクチャを選択し、配線クロゼットとデータセンタに関してGOOD、BETTER、BESTに分類しました。評価はコストと可用性のバランスをベースとしています。以下に6つのアーキテクチャとそれぞれの可用性の評価結果を示します。

配線クロゼットまたはIDFのアーキテクチャ

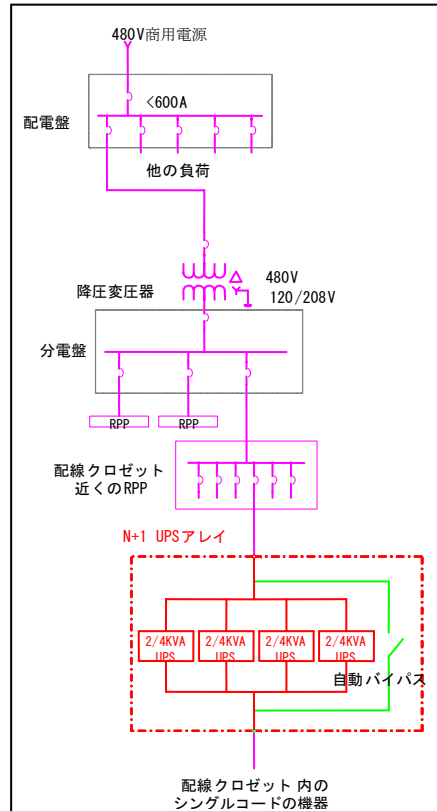
GOOD

シングルコードの機器
 バッテリー稼働時間=1時間
 4つの9
 99.9979872%



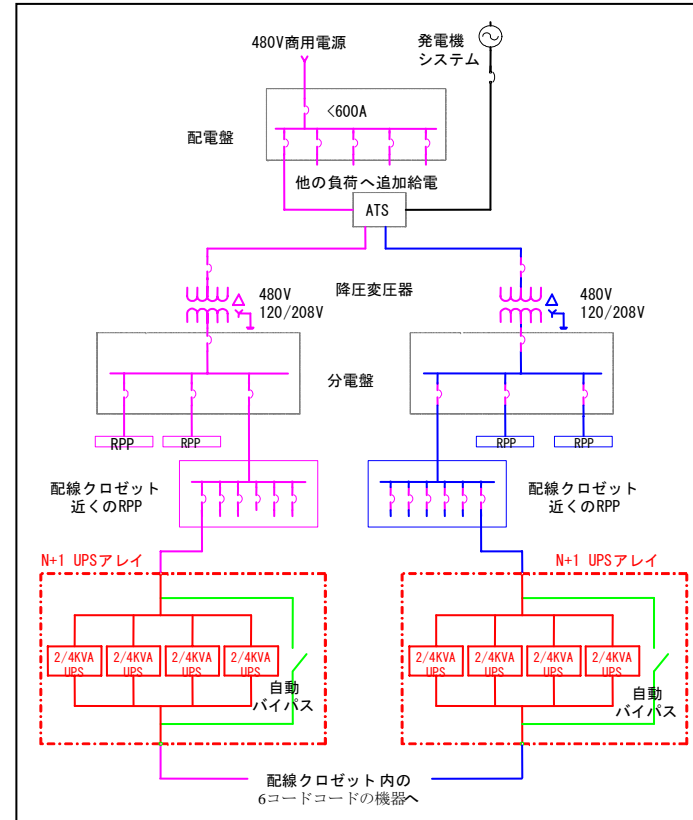
BETTER

シングルコードの機器
 バッテリー稼働時間=1時間
 5つの9
 99.99938958%



BEST

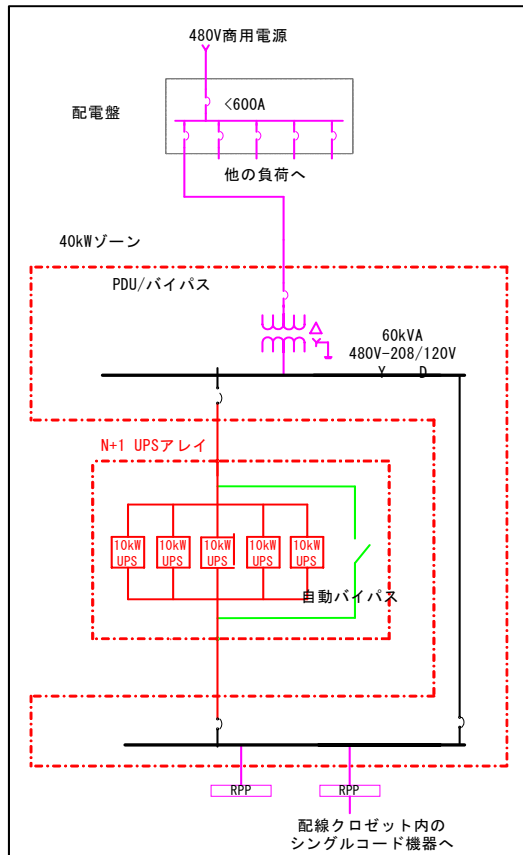
デュアルコードの機器
 バッテリー稼働時間=1時間
 6つの9
 99.99995489%



データセンタまたはMDFのアーキテクチャ

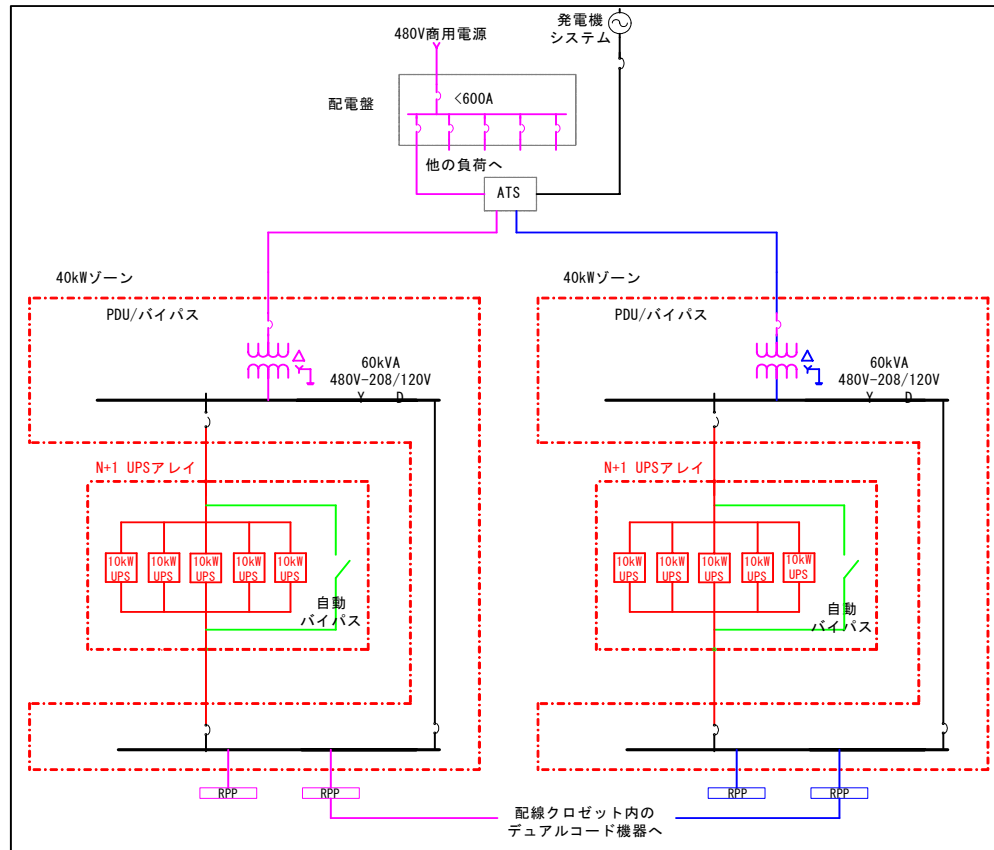
GOOD

シングルコードの機器
 バッテリ稼動時間=1/2時間
 4-9s
 99.99860878%



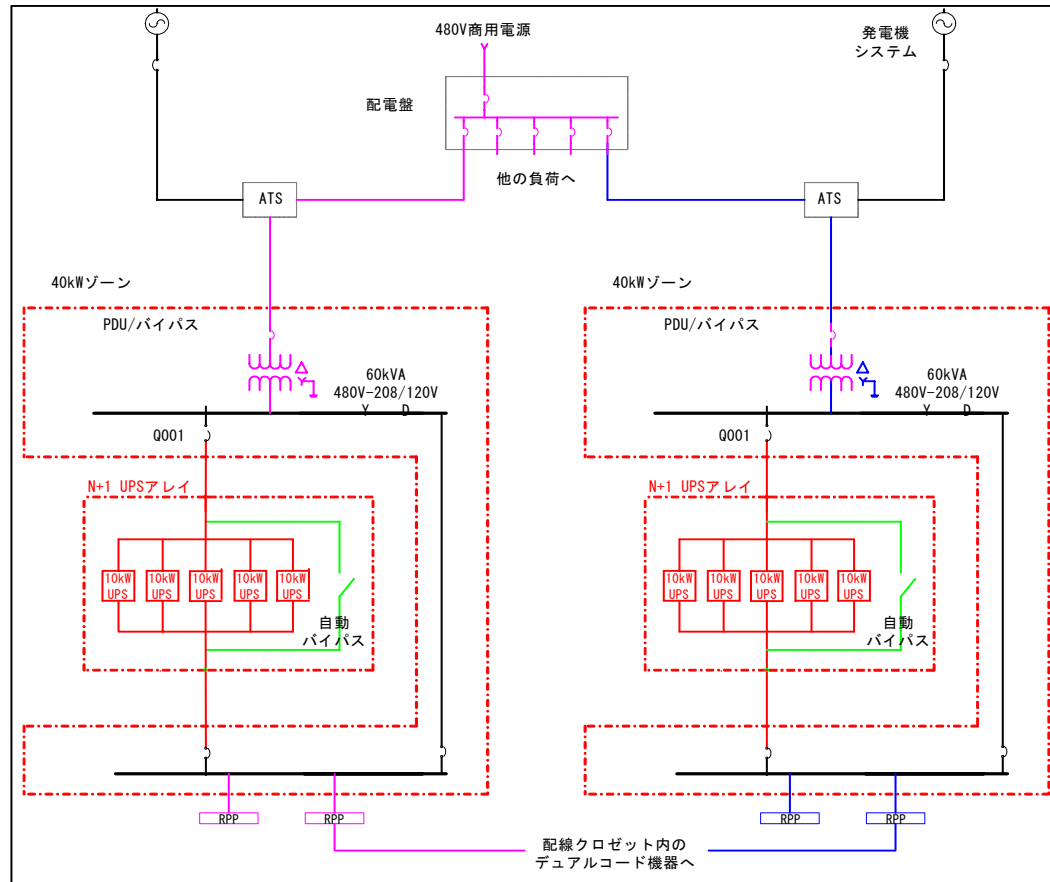
BETTER

デュアルコードの機器
 バッテリ稼動時間=1/2時間
 6つの9
 99.99994652%



データセンタまたはMDFのアーキテクチャ

BEST
 デュアルコードの機器
 バッテリ稼働時間=1/2時間
 7つの9
 99.99999517%



分析に使用したデータ

アーキテクチャのモデルに使用したデータのほとんどは第三者のソースから得たものです。ラックマウントATSのデータはAPCのラックマウントATS製品のフィールドデータをベースとしています。この製品は発売されてからおよそ5年になり、かなりの使用実績があります。この分析の主要なコンポーネントは以下のとおりです。

1. 端子
2. ブレーカ
3. UPSシステム
4. PDU
5. スタティック切替スイッチ (Static Transfer Switch : STS)
6. ラックマウントATS
7. 発電機
8. ATS

PDUは3つのサブコンポーネント（ブレーカ、降圧変圧器、端子）に分割されます。分電盤はメインブレーカ1つ、分岐回路ブレーカ1つ及び端子を直列に繋いでいるベースとして評価されています。表A2には、各

サブコンポーネントについて故障率 $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$ と回復率 $\left(\frac{1}{MTTR}\right)$ の値とソースが示されています。

MTTFは平均故障時間 (Mean Time To Failure)、MTTRは平均回復時間 (Mean Time To Recover) をそれぞれ表します。

分析に使用した仮定

どの可用性分析でも、有効なモデルを作るには一定の仮定を行う必要があります。表A1はこれらの仮定を示します。

表 A1 -- 分析の仮定

仮定	説明
信頼性データ	アーキテクチャのモデルに使用したデータのほとんどは第三者のソースから取得。データがない場合には業界の推測値を使用。信頼性データの要約については表A2を参照。
コンポーネントの故障率	分析のコンポーネントはすべて一定の故障率を示している。これは機器が設計寿命の期間だけ使用されている前提で最も合理的な仮定である。機器が設計寿命を越えて使用された場合には故障率に非線形性を組み込む必要が出てくる。
保守チーム	故障したコンポーネントの修理中、システムの他のコンポーネントはすべて稼働していると仮定する。

仮定	説明
システム他のコンポーネントの可稼働性	故障したコンポーネントの修理中、システムの他のコンポーネントはすべて稼働していると仮定する。
故障の独立性	これらのモデルのアーキテクチャは業界が推奨する最良の方法によって構築されていると仮定する。つまり、物理的な隔離と電気的な絶縁によって、障害が他に波及する可能性は非常に低くなっている。
配線の故障率	アーキテクチャ内の各コンポーネント間の配線は計算に含まれていない。というのも、配線の故障率は非常に低く、予測が難しいうえ、統計的な意味を持たないからである。以前の調査によれば、配線の故障は非常にまれであるため、全体の可用性にほとんど影響しない。大きな端子については考慮されている。
人為的ミス	この分析では人為的ミスを原因とするダウンタイムは考慮されていない。人為的ミスはデータセンタのダウンタイムの原因としてかなりの比重を占めるが、この分析の目的は電源インフラストラクチャのアーキテクチャを比較し、各アーキテクチャの物理的脆弱点を明らかにすることにある。そのうえ、人為的ミスが可用性にどのように影響するかについてはデータがないという事情もある。
電源可用性が分析の中心	この分析は電源の可用性に関する情報を提供する。ビジネスプロセスの可用性は一般に電源の可用性より低くなる。というのも、電源が回復してもビジネスをすぐに再開できるとは限らないからである。ITシステムを再始動するには一定の時間がかかり、可用性の遅延が生じるが、この分析では扱わない。
故障隔離の利点なし	重要な機器の故障はすべての機器の故障と同等の故障とみなされる。ある種の業務では、単一の機器の故障は重要な機器すべての故障ほどの影響をもたらさない。この分析では単一の機器だけを扱った。

表 A2 – コンポーネントと値

コンポーネント	故障率	回復率	データのソース	備考
商用電力	3.887E-003	30.487	EPRI – 商用電源に関するデータを収集し、すべての配電の加重平均を計算した。	このデータは国や地域に大きく依存している。
ディーゼルエンジン発電機	1.0274E-04	0.25641	IEEE Gold Book Std 493-1997、406ページ	故障率は稼働時間をベースとしている。44ページの表3-4によれば始動時について0.01350の故障。
自動切替スイッチ	9.7949E-06	0.17422	Survey of Reliability / Availability - ASHRAE paper # 4489	
端子、0-600V	1.4498E-08	0.26316	IEEE Gold Book Std 493-1997、41ページ	
6個の端子	8.6988E-08	0.26316	IEEE Gold Book Std 493-1997 (ページ41) の値から計算。	変圧器の上位。3相接続ごとに3個の端子が存在する。コンポーネント間には2セットの端子が存在するから、合計で6個の端子が使用されている。

コンポーネント	故障率	回復率	データのソース	備考
8個の端子	1.1598E-07	0.26316	IEEE Gold Book Std 493-1997 (ページ41) の値から計算。	変圧器の下位。3相接続とニュートラルごとに4個の端子が存在する。コンポーネント間には2セットの端子が存在するから、合計で8個の端子が使用されている。
回路ブレーカ	3.9954E-07	0.45455	IEEE Gold Book Std 493-1997、40ページ	一定 (MCCBを含む)、0-600A
PDU変圧器 (降圧)	7.0776E-07	0.01667	MTBFはIEEE Gold Book Std 493-1997 (ページ40) から、MTTRはMarcus Transformer DataとSquare Dによる平均。	<100kVA
サイリスタスタティック切替スイッチ	4.1600E-06	0.16667	Gordon Associates, Raleigh, NC	故障率にはコントロールを含む。このサイズのSTSの回復率はASHRAEによっては示されていないので、600-1000A STSの値を使用した。
UPSバックプレーン	7.0000E-07	0.25000	Symmetraのフィールドデータから推定。	
UPS (バイパス付き)	4.00E-06	3.00000	故障率はPower Quality Magazine (2001年2月号) から。回復率のデータはサイトに保管されているスペアパーツに基づく。	故障データはバイパス付きのモジュール式UPSを仮定している。
UPS (バイパスなし)	3.64E-05	3.00000	故障率はPower Quality Magazine (2001年2月号) から。回復率のデータは保守担当者の到着までに4時間、システムの修理に4時間を要するものとして計算されている。	バイパスなしのUPS。MGE "Power Systems Applications Guide"によれば、バイパスなしの場合のMTBFは27,440時間。
ラックマウントATSスイッチ	2.00E-06	3.00000	APC冗長スイッチのフィールドデータ	APCラックATSのMTTFは200万時間として算出されたが、もっと控えめな50万時間を採用した。

状態空間モデル

6つのアーキテクチャの各種の状態を表すために、6つの状態空間モデルを使用しました。信頼性データに加えて、これら6つの状態空間モデルの中で使用するその他の変数を定義しました（表A3）。

表 A3 – ステートスペースモデルの変数

変数	値	データのソース	備考
PbypassFailSwitch	0.001	業界平均	UPS障害の際にバイパスが商用に切り替わるのに失敗する確率。
Pbatfailed	0.001	Gordon Associates - Raleigh, NC	バッテリーに切り替わったときにUPSの負荷がドロップする確率。コントロールを含む。
Pbatfailed (冗長UPS)	0.000001	上記の値の二乗	両方のUPSバッテリーシステムが相互に完全に独立していると仮定する。
Tbat	1または1/2時間		状況に応じたバッテリーの保持時間
Pgenfail_start	0.0135	IEEE Gold Book Std 493-1997、44ページ	発電機が始動時に失敗する確率。失敗率は稼働時間をベースとしている。ページ44の表3-4によれば0.01350の失敗率。この確率はATSも考慮している。
Pgenfail_start (冗長UPS)	0.00911	50x上記の値の二乗	共通原因による冗長発電機間の失敗を考慮して、Pgenfailedを1/50減らした。
Tgen_start	0.05278	業界平均	停電時に発電機が始動するまでの遅延。190秒に等しい。